

EPITAXIAL GROWTH OF NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR

Publication number: JP2002170991 (A)

Publication date: 2002-06-14

Inventor(s): TSAI TZONG-LIANG; CHANG CHIH-SUNG +

Applicant(s): UNITED EPITAXY CO LTD + (UNITED EPITAXY CO LTD)

Classification:

- **international:** C30B29/38; H01L21/20; H01L21/205; H01L33/06; H01L33/28; H01L33/32; C30B29/10; H01L21/02; H01L33/00; (IPC1-7): C30B29/38; H01L21/205; H01L33/00

- **European:** H01L21/20B4; H01L21/20B6B2; H01L21/20B6B6; H01L33/00G3B2; H01L33/00G3C

Application number: JP20010011695 20010119

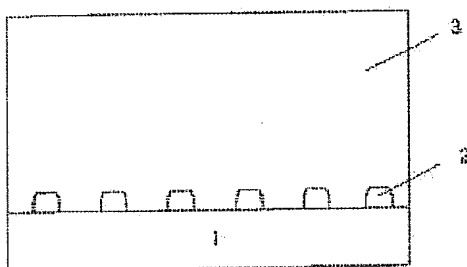
Priority number(s): TW20000124233 20001116

Also published as:

JP3778344 (B2)
US2002056840 (A1)
US6462357 (B1)
TW486829 (B)

Abstract of JP 2002170991 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a material and a structure for reducing the dislocation density at the time of growing III nitride compound semiconductor. **SOLUTION:** A semiconductor structure includes an insular single crystal layer of II nitride compound and a III nitride compound semiconductor layer is grown thereon. Consequently, the dislocation density caused by the difference of lattice constant between a GaN compound semiconductor layer and the substrate is reduced. Furthermore, crystallization characteristics of the III nitride compound semiconductor are enhanced.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-170991
(P2002-170991A)

(43) 公開日 平成14年6月14日 (2002.6.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	Z 5 F 0 4 1
			D 5 F 0 4 5
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	

審査請求 有 請求項の数23 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-11695(P2001-11695)
(22) 出願日 平成13年1月19日 (2001.1.19)
(31) 優先権主張番号 0 8 9 1 2 4 2 3 3
(32) 優先日 平成12年11月16日 (2000.11.16)
(33) 優先権主張国 台湾 (TW)

(71) 出願人 500445022
ユナイテッド エピタクシー カンパニー
リミテッド
United Epitaxy Comp
any, Ltd.
台湾 シンゾウ サイエンスベースト
インダストリアル パーク リーシン ロ
ード ナンバー10 9エフ
(74) 代理人 100075812
弁理士 吉武 賢次 (外3名)

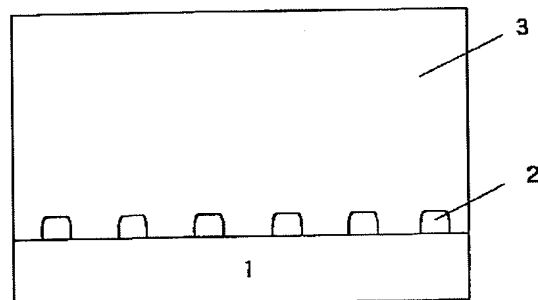
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物化合物半導体のエピタキシャル成長

(57) 【要約】

【課題】 III族窒化物化合物半導体の成長時の転位密度を減少させるための材料および構造の提供。

【解決手段】 半導体構造中にはII族窒化物化合物の単結晶島層が含まれ、この層の上にIII族窒化物化合物半導体層が成長する。それによって、GaN化合物半導体層と基板との格子定数の差に起因する転位密度が減少する。また、本発明により、III族窒化物化合物半導体の結晶化特性が改良される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板と、

前記基板上のII族窒化物化合物単結晶島層と、

前記II族窒化物化合物単結晶島層上の第1のIII族窒化物化合物半導体層と、

前記第1のIII族窒化物化合物半導体層上のIII族窒化物発光領域と、

前記III族窒化物発光領域上の第2のIII族窒化物化合物半導体層と、を含んでなる発光半導体デバイス。

【請求項2】前記第1のIII族窒化物化合物半導体層がn型III族窒化物化合物半導体層であり、前記第2のIII族窒化物化合物半導体層がp型III族窒化物化合物半導体層である、請求項1に記載の発光半導体デバイス。

【請求項3】前記基板の材料が、 Al_2O_3 、SiC、SiおよびGaAsからなる群から選ばれる、請求項1に記載の発光半導体デバイス。

【請求項4】前記II族窒化物化合物単結晶島層が、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Zn、CdおよびHgからなる群から選ばれる少なくとも1種の元素から生成される、請求項1に記載の発光半導体デバイス。

【請求項5】前記II族窒化物化合物単結晶島層の成長温度が200℃～1,200℃である、請求項1に記載の発光半導体デバイス。

【請求項6】前記III族窒化物化合物発光領域が、InからなるIII族窒化物化合物半導体層である、請求項1に記載の発光半導体デバイス。

【請求項7】前記III族窒化物化合物発光領域の構造が、二重ヘテロ構造、単量子体および多量子体からなる群から選ばれる、請求項6に記載の発光半導体デバイス。

【請求項8】前記n型III族窒化物化合物半導体層のドーパントが、以下の元素：Te、Si、GeおよびSnのうちの少なくとも1種の元素からなる、請求項2に記載の発光半導体デバイス。

【請求項9】前記p型III族窒化物化合物半導体層のドーパントが、以下の元素：Mg、ZnおよびCdのうちの少なくとも1種の元素からなる、請求項2に記載の発光半導体デバイス。

【請求項10】前記n型III族窒化物化合物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ （ここで $0 \leq x+y \leq 1$ ）である、請求項2に記載の発光半導体デバイス。

【請求項11】前記p型III族窒化物化合物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$ である、請求項2に記載の発光半導体デバイス。

【請求項12】基板と、

前記基板上のIII族窒化物化合物半導体層と、

前記III族窒化物化合物半導体層上のII族窒化物化合物単結晶島層と、

前記II族窒化物化合物単結晶島層上の第1のIII族窒化物化合物半導体層と、

前記第1のIII族窒化物化合物半導体層上のIII族窒化物発光領域と、

前記III族窒化物化合物発光領域上の第2のIII族窒化物化合物半導体層と、を含んでなる発光半導体デバイス。

【請求項13】前記第1のIII族窒化物化合物半導体層がn型III族窒化物化合物半導体層であり、前記第2のIII族窒化物化合物半導体層がp型III族窒化物化合物半導体層である、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項14】前記基板の材料が、 Al_2O_3 、SiC、SiおよびGaAsからなる群から選ばれる、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項15】前記II族窒化物化合物単結晶島層が、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Zn、CdおよびHgからなる群から選ばれる少なくとも1種の元素からなる、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項16】前記II族窒化物化合物単結晶島層の成長温度が200～1,200℃である、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項17】前記III族窒化物化合物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ （ここで $0 \leq x+y \leq 1$ ）である、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項18】前記III族窒化物化合物発光領域が、InからなるIII族窒化物化合物半導体層である、請求項12に記載の発光半導体デバイス。

【請求項19】前記III族窒化物化合物発光領域の構造が、二重ヘテロ構造、単量子体および多量子体からなる群から選ばれる、請求項18に記載の発光半導体デバイス。

【請求項20】前記n型III族窒化物化合物半導体層のドーパントが、以下の元素：Te、Si、GeおよびSnのうちの少なくとも1種の元素からなる、請求項13に記載の発光半導体デバイス。

【請求項21】前記p型III族窒化物化合物半導体層のドーパントが、以下の元素：Mg、ZnおよびCdのうちの少なくとも1種の元素からなる、請求項13に記載の発光半導体デバイス。

【請求項22】前記n型III族窒化物化合物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ （ここで $0 \leq x+y \leq 1$ ）である、請求項13に記載の発光半導体デバイス。

【請求項23】前記p型III族窒化物化合物半導体層が $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ （ここで $0 \leq x+y \leq 1$ ）である、請求項13に記載の発光半導体デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】発明の分野

本発明はIII族窒化物化合物半導体デバイスを提供するものである。この半導体デバイスは、エピタキシャル成長時に発生するIII族窒化物化合物の転位を減少させるために半導体デバイス構造中にII族窒化物化合物の結晶島層を有することを特徴とする。

【0002】発明の背景

III族窒化物化合物半導体、特にGaN基材料を有する半導体は、青緑色発光ダイオード(LED)やレーザーダイオードなどの発光デバイスの製造に多く用いられている。これらの材料は、通常、酸化アルミニウム(Al_2O_3)基板または炭化ケイ素(SiC)基板の上に成長する。

【0003】酸化アルミニウム基板を例にとってみよう。GaN結晶層は、 Al_2O_3 基板とGaNの格子定数の差が16%を越えるために Al_2O_3 基板上に直接成長しにくい。そのために、米国特許第4,855,249号明細書において、Akasakiらは、 Al_2O_3 基板とGaN層との格子定数の差によって生じる問題を低減させるように低温下に非晶質AlN緩衝層を Al_2O_3 基板上に成長させることを最初に開示した。Nakamuraらは、米国特許第5,290,393号明細書において、緩衝層として成長させるためにGaNまたはAlGaNなどの材料を用いることを開示した。先ず、400~900℃の温度下に、 Al_2O_3 基板上に非晶質GaN緩衝層が成長した。次いで、1,000~1,200℃の温度下に、このGaN緩衝層上にGaNエピタキシー層が成長した。GaNエピタキシー層の特性および性能は、緩衝層としてAlNを用いて製造したGaNエピタキシー層のものより良好であった。

【0004】しかし、緩衝層材料として、GaN基、AlGaN基またはAlN基材料を用いた場合でも、 Al_2O_3 基板とGaN材料との格子定数の差に起因する転位欠陥のために、GaN基材料を有するエピタキシー層は依然として $10^{10} \text{ cm}^{-2} \sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$ の転位密度を有する。このことが、半導体デバイスの性能欠陥の原因となり、照度および電気特性に悪影響を与える。その結果、転位を減少させるために、多重緩衝層構造、選択横方向成長(ELONG)構造、InGaN/GaN超格子構造、またはAlGaN/GaN超格子構造などの転位密度低減法が次々に提案されている。

【0005】発明の要旨

本発明は、基板上に直接成長させるためのII族窒化物化合物材料を提供するものである。このII族窒化物化合物材料は、基板またはIII族窒化物化合物材料上に結晶島構造をなして規則正しく成長する。III族窒化物半導体層の転位を減少させ、エピタキシー特性を改良するために、この結晶島構造の上にIII族窒化物化合物半導体層を成長させる。

【0006】本発明は、単結晶島構造を有する発光デバイスを開示するものである。単結晶島層の材料はII族窒化物化合物であり、II族元素としては、ベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、ストロンチウム(Sr)、バリウム(Ba)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)および水銀(Hg)などが含まれる。単結晶島層は、単結晶の島と島の間

隔をおいて基板上に成長する。次いで、単結晶島層上にIII族窒化物化合物半導体層が成長する。III族窒化物化合物半導体層は、II族窒化物化合物単結晶島に沿って成長するので、エピタキシー時に発生する転位は、II族窒化物化合物の単結晶島が存在する場所に限定される。それによって、転位密度が実質的に減少することになる。

【0007】発明の詳細な説明

本発明はIII族窒化物化合物半導体デバイスを提供するものである。このデバイスは、構造中に少なくとも1つのII族窒化物単結晶島層を有することを特徴とする。これによって、エピタキシー時に発生するIII族窒化物化合物の転位が減少する。

【0008】本発明によれば、水素化物気相成長法(HVPE)、有機金属気相成長法(OMVPE)、または分子線成長法(MBE)を用いることによって、 Al_2O_3 基板、SiC基板、GaAs基板またはSi基板の上に、3~5族化合物半導体層、例えば $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 層(ここで $0 \leq x+y \leq 1$)、が成長する。Ga源はTMGaまたはTEGa、Al源はTMAIまたはTEAl、In源はTMInまたはTEIn、N源は NH_3 またはジメチルヒドラジン(DMeNNH₂)である。p型ドーパントは、Zn、Cd、Be、Mg、CaおよびBaからなる群から選択され、n型ドーパントは、Te、Si、GeおよびSnからなる群から選ばれる。II族元素は、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Zn、CdおよびHgからなる群から選ばれる。

【0009】図1は、本発明のII族窒化物化合物から成長した単結晶の島を有するIII族窒化物化合物半導体構造を示している。 Al_2O_3 、SiC、GaAsまたはSi基板1の上にII族窒化物化合物材料の単結晶島層2が成長している。II族窒化物化合物の成長温度および成長時間を調整することにより、単結晶島層2の単結晶島の数および大きさが制御される。成長温度が200~1,200℃で、成長時間が5秒~30分であれば、単結晶島の密度は 10^7 cm^{-2} 以下に制御される。II族窒化物化合物単結晶島層2の島の数によって転位欠陥の数が決まり、II族窒化物化合物単結晶島層2の島の大きさによってIII族窒化物化合物半導体層3のエピタキシー特性が変わる。ウエハ上でII族窒化物化合物単結晶島層2の成長が終わると、続いてその上にIII族窒化物化合物半導体層3が成長する。III族窒化物化合物半導体層3はII族窒化物化合物単結晶島層2の単結晶島に沿って成長し、転位は隣り合う2つの単結晶島の間で発生する。これによって、転位欠陥の数が実質的に減少する。

【0010】図2は、本発明の半導体デバイスの1つの実施態様を示している。先ず、基板1の上に追加のIII族窒化物化合物半導体層4が成長している。追加のIII族窒化物化合物半導体層4は高転位密度を有している。次いで、追加のIII族窒化物化合物半導体層4の上にII族窒化物化合物単結晶島層2が成長している。II族窒化

物化合物単結晶島層2の成長温度および成長時間を調整することにより、単結晶島層2の単結晶島の数および大きさが制御される。成長温度が200~1,200℃で、成長時間が5秒~30分であれば、単結晶島の密度は 10^7 cm^{-2} 以下に制御される。続いて、II族窒化物化合物単結晶島層2の上にIII族窒化物化合物半導体層3が成長している。これによって、転位欠陥の数が実質的に減少する。この構造の利点は、III族窒化物化合物半導体層3がII族窒化物化合物単結晶島層2の上にあるために、III族窒化物化合物半導体層3が追加のIII族窒化物化合物半導体層4からより容易に成長できることである。その結果、GaNのエピタキシー特性が改良される。

【0011】図3および図4は本発明の発光半導体デバイスの2つの異なる実施態様を示しており、図4に示されている半導体デバイスの基板1の上には追加のIII族窒化物化合物半導体層4が成長している。II族窒化物化合物単結晶島層2の構造を有するIII族窒化物化合物半導体層3の上にn型III族窒化物化合物半導体層5が成長している。n型III族窒化物化合物半導体層5のn型ドーパントは、SiH₄およびS₂H₆からなる群から選択され、電子キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。次いで、n型III族窒化物化合物半導体層5の上に、半導体化合物材料としてのInを有する発光領域が成長している。この層の構造は、二重ヘテロ構造、単量子体または多量子体6であってよい。次いで、この発光領域上にp型III族窒化物化合物半導体層7が成長しており、これでLED構造が完結している。p型III族窒化物化合物半導体層7のドーパントは、MgおよびZnなどからなる群から選択され、正孔キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。LEDの順方向電圧は3.0~3.4Vであり、これは、II族窒化物化合物単結晶島層2を有していないLEDの順方向電圧より約0.5~1.0V低い。

【0012】図5および図6は本発明の発光半導体デバイスの別の2つの異なる実施態様を示しており、図6に示されている半導体デバイスの基板1の上には追加のII族窒化物化合物半導体層4が成長している。II族窒化物化合物単結晶島層2の構造を有するIII族窒化物化合物半導体層3の上にp型III族窒化物化合物半導体層7が成長している。p型III族窒化物化合物半導体層7のドーパントは、MgおよびZnなどからなる群から選択され、正孔キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。次いで、p型III族窒化物化合物半導体層7の上に、半導体化合物材料としてのInを有する発光領域が成長している。この層の構造は、二重ヘテロ構造、単量子体または多量子体6であってよい。次いで、この発光領域上にn型III族窒化物化合物半導体層5が成長しており、これでLED構造が完結し

ている。n型III族窒化物化合物半導体層5のn型ドーパントはSiH₄およびS₂H₆からなる群から選択され、電子キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。LEDの順方向電圧は3.0~3.4Vであり、これは、II族窒化物化合物単結晶島層2を有していないLEDの順方向電圧より約0.5~1.0V低い。

【0013】本発明は半導体層の転位欠陥を減少させる構造を提供する。III族窒化物化合物半導体の転位を実質的に減少させ、エピタキシー特性を改良するために、基板または3~5族化合物半導体層上にII族窒化物化合物単結晶島層を成長させる。

【0014】以下の諸例は、本発明の精神を詳細に説明するための種々の工程係数を示している。

【0015】[例1] 先ず、反応炉中にエピタキシャル成長用に準備された(epi-ready)Al₂O₃基板を置く。この基板を1,150℃に予熱し、次いで、水素ガスを導入してウエハ表面を10分間清浄にする。次いで、基板の温度をおよそ510℃に下げる。Zn源はDMZn、N源はNH₃である。したがって、63μmol/分のDMZnと $7.14 \times 10^{-2} \text{ mol}$ /分のNH₃との混合ガス流が反応炉に導入され、基板上にZnNの単結晶島層が成長する。単結晶島の平均直径は約0.2μmであり、島密度は約 10^7 cm^{-2} である。次いで、基板温度を1,140℃に上げ、反応炉に、 $5.97 \times 10^{-5} \text{ mol}$ /分のTMGaと $1.34 \times 10^{-1} \text{ mol}$ /分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、2μmのGaN半導体層が生成する。ホール効果測定によると、移動度は約 $650 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ であり、キャリア濃度はおよそ $2.93 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0016】[例2] 例2のエピタキシー工程は例1のものと同様であるが、Mg源としてDMZnをDCpMgに置き換える。600℃の成長温度下に、反応炉に56μmol/分のDCpMgガス流を導入する。基板の上に、単結晶島の平均直径が約0.2μmのMgN単結晶島層が生成する。ホール効果測定によれば、移動度は約 $635 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ であり、キャリア濃度はおよそ $2.93 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0017】[例3] 例3のAl₂O₃基板の予備処理は例1のものと同様である。基板の温度を530℃に調整し、反応炉に、 $1.19 \times 10^{-5} \text{ mol}$ /分のTMGaと、 $5.23 \times 10^{-6} \text{ mol}$ /分のTMAIと、 $7.14 \times 10^{-2} \text{ mol}$ /分のNH₃との混合ガス流を導入すると、基板の上に約25nmのAlGaN半導体層が成長する。次いで、上記混合ガス流を止め、基板温度を510℃に下げる。さらに、反応炉に、63μmol/分のDMZnと $7.14 \times 10^{-2} \text{ mol}$ /分のNH₃との別の混合ガス流を導入する。それによって、AlGaN半導体層上にZnN単結晶島層が生成する。次

いで、基板の温度を1,140℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、ZnN単結晶島層上にドーピングされていない2μmのGaN半導体層が形成される。ホール効果測定によれば、移動度は約 $715 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ であり、キャリア濃度はおよそ $1.97 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0018】[例4] 例4のエピタキシー工程は例3のものと同様であるが、Be源としてDMZnをEt₂Beに置き換える。基板温度を450℃に調整し、反応炉に、 $75 \mu\text{mol}/\text{分}$ のEt₂Beと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、BeN単結晶島層が形成される。この単結晶島層上にGaN半導体層を成長させる。ホール効果測定によれば、移動度は約 $630 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ であり、キャリア濃度はおよそ $3.12 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0019】[例5] 例1と同じ様に、ZnN単結晶島層とGaN半導体層がAl₂O₃基板上に成長させる。反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと、 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃と、 1.77×10^{-10} mol/分のSiH₄との混合ガス流を導入すると、ZnN単結晶島層を有するGaN半導体層上に、Siがドーピングされた2.5μmのn型GaN半導体層が生成する。次いで、すべてのガス流を止め、基板の温度を820℃に下げる。反応炉に、 $8.61 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMGaと、 $4.73 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMInと、 $0.134 \text{ mol}/\text{分}$ のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、多量子体(MQW)構造の発光領域が生成する。次いで、すべてのガス流を止め、基板温度を1,110℃に上げる。反応炉に、 $47.5 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMGaと、 1.25×10^{-7} mol/分のDCpMgと、 8.93×10^{-2} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、MQW構造の発光領域上に、Mgがドーピングされた0.5μmのp型GaN半導体層が形成される。このLED構造の順方向電圧は20mAで3.1Vである。

【0020】[例6] 例5と同じ様に、MgN単結晶島層を有するGaN半導体層上にLED構造を成長させる。ウエハにされたとき、このLED構造の順方向電圧は20mAで3.05Vである。

【0021】[例7] 例7のエピタキシー工程は例3のものと同様であるが、Cd源としてDMZnをDMCdに置き換える。680℃の成長温度下に、 $75 \mu\text{mol}/\text{分}$ のDMCdガス流を反応炉に導入すると、CdN単結晶島層を有するGaN半導体層が生成する。次いで、例5と同じ様に、このGaN半導体層上にLED構造が成長する。ウエハにされたとき、このLED構造の順方向電圧は20mAで3.2Vである。

【0022】[例8] 例8のAl₂O₃基板の前処理は例1のものと同様である。基板の温度を530℃に調整

し、反応炉に、 1.02×10^{-5} mol/分のTMInと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、基板上にInNの結晶島層が成長する。次いで、反応炉に、 5.23×10^{-6} mol/分のTMAIの別のガス流を導入すると、AlInNの結晶島層が生成する。これら2つの結晶島層の厚さはおよそ35nmである。次いで、TMInガスを止め、TMAIガスとNH₃ガスの導入を続けると、厚さ25nmのAlGaN層が生成する。次いで、TMAIガスとNH₃ガスを止め、基板温度を510℃に下げる。反応炉に、 $63 \mu\text{mol}/\text{分}$ のDMZnと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、AlN層上にZnN単結晶島層が成長する。基板温度を1,000℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、ZnN単結晶島層上に、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層が形成される。基板温度を600℃に下げ、反応炉に、 $57 \mu\text{mol}/\text{分}$ のDCpMgと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、GaN層上にMgN単結晶島層が生成する。再び、基板温度を1,000℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層が形成される。基板温度を1,150℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと、 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃と、 1.77×10^{-10} mol/分のSiH₄との混合ガス流を導入すると、Siがドーピングされた2.5μmのn型GaN半導体層が形成される。次いで、すべてのガス流を止め、基板温度を820℃に下げる。反応炉に、 $8.61 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMGaと、 $4.73 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMInと、 $0.134 \text{ mol}/\text{分}$ のNH₃との混合ガス流を導入して、InGaN/GaNのMQW構造を有する発光領域を成長させる。次いで、すべてのガス流を止め、基板温度を1,110℃に上げる。反応炉に、 $47.5 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMGaと、 1.25×10^{-7} mol/分のDCpMgと、 8.93×10^{-2} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、MQW構造を有する発光領域上に、Mgがドーピングされた0.5μmのp型GaN半導体層が形成される。これで、このLED構造は完結し、その順方向電圧は20mAで3.3Vである。

【0023】[例9] 例9のAl₂O₃基板の前処理は例1のものと同様である。基板温度を530℃に調整し、反応炉に、 1.02×10^{-5} mol/分のTMInと、 5.23×10^{-6} mol/分のTMAIと、 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、基板上に25nmのAlInN半導体層が形成される。TMInと、TMAIと、NH₃との混

合ガス流を止め、基板温度を1,050℃に上げる。反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、AlInN半導体層上に、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層が成長する。基板の温度を510℃に下げ、反応炉に、 $57 \mu\text{mol}$ /分のDCpMgと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、GaN層上にMgN単結晶島層が成長する。基板温度を1,050℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層が形成される。次いで、基板温度を1,100℃に上げ、反応炉に、 $47.5 \mu\text{mol}$ /分のTMGaと、 1.25×10^{-7} mol/分のDCpMgと、 8.93×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、GaN層上に、Mgがドーピングされた3μmのp型GaN半導体層が形成される。すべてのガス流を止め、基板温度を820℃に下げる。反応炉に、 $8.61 \mu\text{mol}$ /分のTMGaと、 $4.73 \mu\text{mol}$ /分のTMInと、0.134mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、InGaN/GaNのMQW構造を有する発光領域が生成する。最後に、基板温度を1,150℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと、 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃と、 1.77×10^{-10} mol/分のSiH₄との混合ガス流を導入すると、MQW構造を有する発光領域上に、Siがドーピングされた0.5μmのn型GaN半導体層が形成される。これで、このLED構造は完結し、その順方向電圧は20mAで3.6Vである。

【0024】[例10] 例10のAl₂O₃基板の前処理は例1のものと類似である。基板温度を530℃に調整し、反応炉に、 $63 \mu\text{mol}$ /分のDMZnと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、基板上にZnN単結晶島層が形成される。次いで、反応炉に、 5.23×10^{-6} mol/分のTMAIと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、基板上に25nmのAlN半導体層が形成される。次いで、TMAIとNH₃との混合ガス流を止め、基板温度を1,050℃に上げる。反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入して、AlN半導体層上に、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層を成長させる。基板の温度を1,150℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと、 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃と、 1.77×10^{-10} mol/分のSiH₄との混合ガス流を導入すると、Siがドーピングされた2.5μmのn型GaN半導体層が生成する。次いで、

すべてのガス流を止め、基板温度を820℃に下げる。反応炉に、 $8.61 \mu\text{mol}$ /分のTMGaと、 $4.73 \mu\text{mol}$ /分のTMInと、0.134mol/分のNH₃との混合ガス流を導入して、InGaN/GaNのMQW構造を有する発光領域を形成する。最後に、すべてのガス流を止め、基板温度を1,110℃に上げる。反応炉に、 $47.5 \mu\text{mol}$ /分のTMGaと、 1.25×10^{-7} mol/分のDCpMgと、 8.93×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、MQW構造を有する発光領域上に、Mgがドーピングされた0.5μmのp型GaN半導体層が成長する。これで、このLED構造は完結し、その順方向電圧は20mAで3.3Vである。

【0025】[例11] 例11のエピタキシー工程は例10のものと類似であるが、Be源としてDMZnをEt₂Beに置き換える。成長温度を450℃に調整し、反応炉に、 $75 \mu\text{mol}$ /分のEt₂Beと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、BeNの単結晶島層が形成される。次いで、例10と類似の方法でLED構造を成長させる。その順方向電圧は20mAで3.5Vである。

【0026】[例12] 例12のAl₂O₃基板の前処理は例1のものと類似である。基板温度を530℃に調整し、反応炉に、 1.02×10^{-5} mol/分のTMInと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、基板上にInN単結晶島層が形成される。次いで、反応炉に、 5.23×10^{-6} mol/分のTMAIを導入すると、InN単結晶島層上にAlInN単結晶島層が形成される。これら2つの層の厚さは約35nmである。TMInガスを止め、TMAIガスとNH₃ガスの導入を続けると、25nmのAlGaN層が形成される。次いで、TMAIガスとNH₃ガスを止め、基板温度を510℃に下げる。反応炉に、 $57 \mu\text{mol}$ /分のDCpMgと 7.14×10^{-2} mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入して、AlN層上にMgN単結晶島層を成長させる。基板の温度を1,050℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃との混合ガス流を導入すると、MgN単結晶島層上に、ドーピングされていない0.5μmのGaN半導体層が生成する。次いで、基板温度を1,150℃に上げ、反応炉に、 5.97×10^{-5} mol/分のTMGaと、 1.34×10^{-1} mol/分のNH₃と、 1.77×10^{-10} mol/分のSiH₄との混合ガス流を導入すると、Siがドーピングされた2.5μmのn型GaN半導体層が生成する。次いで、すべての混合ガス流を止め、基板温度を820℃に下げる。反応炉に、 $8.61 \mu\text{mol}$ /分のTMGaと、 $4.73 \mu\text{mol}$ /分のTMInと、0.134mol/分のNH₃との別の混合ガス流を導入して、InGaN/GaNのMQW構造

を有する発光領域を形成する。最後に、すべてのガス流を止め、基板温度を1,110℃に上げる。反応炉に、 $47.5 \mu\text{mol}/\text{分}$ のTMGaと、 $1.25 \times 10^{-7} \text{ mol}/\text{分}$ のDCpMgと、 $8.93 \times 10^{-2} \text{ mol}/\text{分}$ のNH₃との別の混合ガス流を導入すると、MQW構造を有する発光領域上に、Mgがドーピングされた $0.5 \mu\text{m}$ のp型GaN半導体層が成長する。これで、このLED構造は完結し、その順方向電圧は20mAで3.3Vである。

【0027】【例13】例13のエピタキシー工程は例12のものと類似であるが、Cd源としてDCpMgをDMCdに置き換える。成長温度を680℃に調整し、反応炉に $75 \mu\text{mol}/\text{分}$ のDMCdガス流を導入すると、CdNの単結晶島層が形成される。次いで、この層の上に例12と類似の方法でLED構造を成長させる。このLED構造の順方向電圧は20mAで3.2Vである。

【0028】本発明をいくつかの好ましい実施態様に関して説明した。本発明の他の実施態様は、本明細書を検討し、本発明を実施することにより、当業者には明らかになる。さらに、説明を明確にするためにいくつかの専門用語を用いたが、それらの専門用語は本発明を限定するものではない。上述の実施態様および好ましい特徴*

*は代表例とみなすべきであり、本発明は付随の特許請求の範囲によって限定される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のII族窒化物化合物から成長した単結晶島を有するIII族窒化物化合物半導体構造を示す図。

【図2】本発明の半導体デバイスの1つの実施態様を示す図。

【図3】本発明の発光半導体デバイスの第1実施態様を示す図。

【図4】本発明の発光半導体デバイスの第2実施態様を示す図。

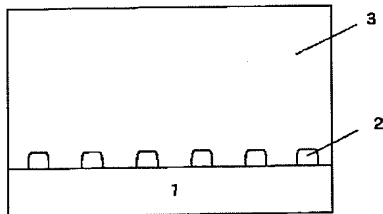
【図5】本発明の発光半導体デバイスの第3実施態様を示す図。

【図6】本発明の発光半導体デバイスの第4実施態様を示す図。

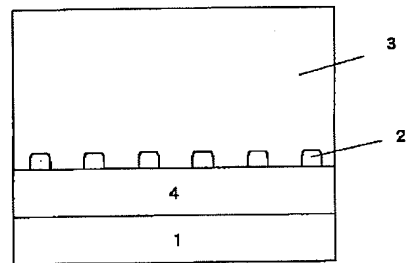
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 II族窒化物化合物単結晶島層
- 3 III族窒化物化合物半導体層
- 4 追加のIII族窒化物化合物半導体層
- 5 n型III族窒化物化合物半導体層
- 6 多量子体(MQW)
- 7 p型III族窒化物化合物半導体層

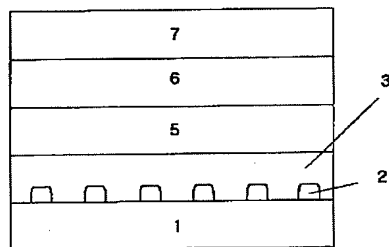
【図1】



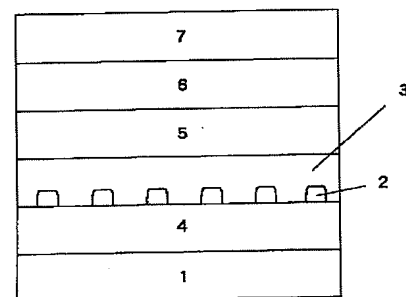
【図2】



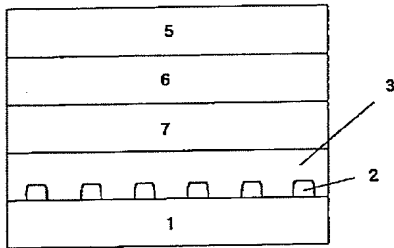
【図3】



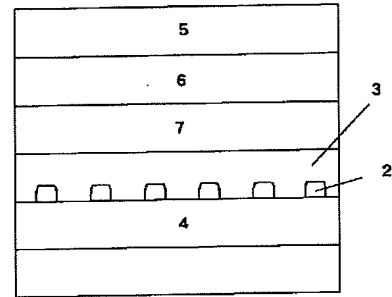
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 蔡 宗 良
 台湾シンズウ サイエンス・ベースト イ
 ンダストリアル パーク リーシン ロー
 ド ナンバー10 9エフ ユナイテッド
 エピタクシー カンパニー リミテッド内

(72)発明者 張 智 松
 台湾シンズウ サイエンス・ベースト イ
 ンダストリアル パーク リーシン ロー
 ド ナンバー10 9エフ ユナイテッド
 エピタクシー カンパニー リミテッド内

F ターム(参考) 4G077 AA03 AA10 BE11 BE13 BE15
 DA05 DB04 DB08 ED06 HA02
 TA04 TA07
 5F041 AA40 CA04 CA05 CA34 CA40
 CA41 CA49 CA53 CA57 CA65
 CA67
 5F045 AA03 AA04 AA18 AB09 AB14
 AB17 AB18 AB40 AC07 AC08
 AC09 AC12 AC19 AD06 AD07
 AD08 AD09 AD10 AD11 AD12
 AD13 AD14 AD15 AD16 AF02
 AF03 AF04 AF09 BB12 CA11
 CA12 CB02 DA53 DA55